

## **Ключевые направления разработки мероприятий по повышению надежности электроэнергетических систем.**

R.B. Jalilov<sup>1</sup>, S.T. Latipov<sup>1</sup>, G.N. Aslanova<sup>1</sup>, A.A. Akhmedov<sup>1</sup>, S.P. Shayimova<sup>1</sup>

Bukhara Engineering-Technological Institute/

Web of Conferences /<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20191390E3S139> (2019) 01 10 1001

**Аннотация.** Статья посвящена изучению мероприятий, направленных на повышение надежности электроснабжения системы на современном этапе. Он рассматривает интеграцию мировой электроэнергетики. Статья анализирует последние технические разработки в области автоматизации, такие как Smart Grid и интеллектуальную мощность системы.

### **Введение.**

Закономерности изменения условий развития и функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС) приводят к существенным преобразованиям в структуре систем и режимах их работы. Эти преобразования обусловлены рядом объективных факторов, определяющих облик ЭЭС будущего. Они продолжают наращивать масштабы ЭЭС, расширяя обслуживаемые территории, объединяя различные ЭЭС для совместной работы с образованием межрегиональных, межгосударственных и межконтинентальных энергетических объединений [1,3,4,9]. Формирование межгосударственных электрических соединений (МЭС), ассоциаций (МСЭА) и рынков представляет собой глобальный интеграционный процесс, протекающий в различных регионах мира уже почти столетие. Хронология развития ИСЭА с первой четверти XX века подробно рассмотрена в [9-13 и 16-21].

### **Интеграция мировой электроэнергетики.**

В исследованиях [9-12] отмечается, что ИСЭД ЕЭС/ЕЭС в настоящее время очень слабо интегрированы. Следует ожидать, что в рамках формирования единого экономического пространства в интеграционных проектах Таможенного союза и ЕАЭС дезинтеграционная тенденция в электроэнергетике постсоветского пространства окончательно сменится интеграционной, которая, как видно из рассмотрения мирового опыта, соответствует общемировой тенденции.

В последнее время вновь поднимается вопрос о формировании Глобальной сверхэнергетической ассоциации, рассматриваются перспективные электроэнергетические мегапроекты, которые составят ее важные элементы [9]. В зоне влияния Единой энергетической системы России и ИСЭА ОЭС/ЕЭС реализуются различные межгосударственные электроэнергетические проекты, фактически определяющие направление интеграции России в

электроэнергетическое пространство Евразии (Рис.1) [9]. Среди них интересен проект CASAREM - Региональный рынок электроэнергии Центральной Азии и Южной Азии (проект МГЭС между странами Центральной и Южной Азии).

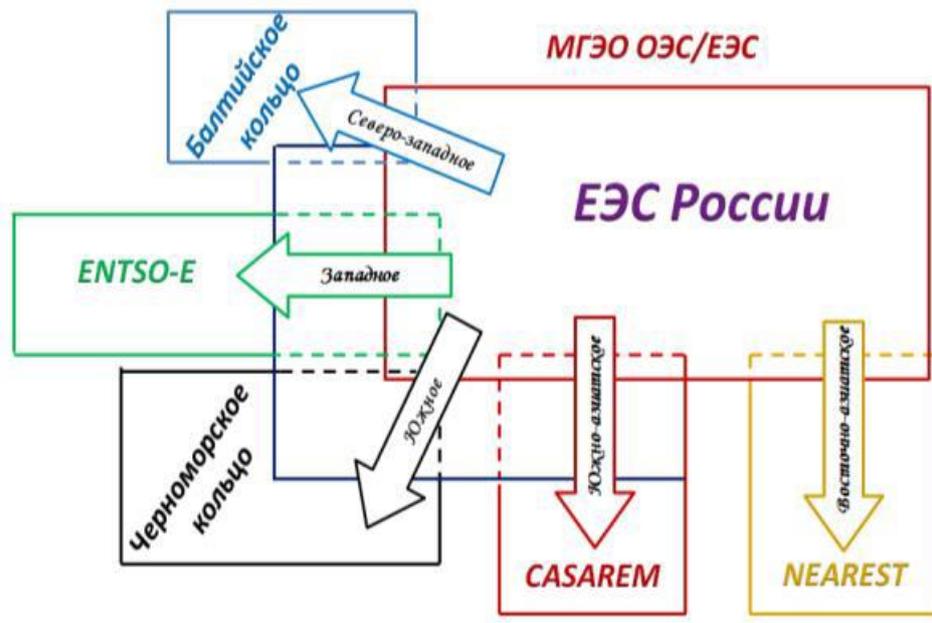


Рис. 1. Направления интеграции ЕЭС России в Евразийскую ИСЭА

ОЭС России (как отмечено в [9]), а также ОЭС Узбекистана, участвуя в электроэнергетических интеграционных проектах с соседними странами, могут стать связующим звеном между национальными и региональными ЭЭС на значительной части Европы и Азии, способствуя формированию Евразийского трансконтинентального энергетического объединения. В конечном итоге это способствует повышению надежности энергосистем Центрально-Азиатского региона.

С учетом новых технологий в преобразовательной технике на основе силовой электроники, снижения затрат, повышения надежности и обеспечения высокой управляемости передачи электроэнергии постоянного тока они получают значительное развитие в передающей электрической сети. В то же время широкое применение устройств, формирующих гибкую передачу электроэнергии переменного тока (ФАКТЭ) на основе применения силовой электроники, позволит радикально повысить управляемость сети передачи переменного тока [3]. Новые технологии, в том числе использование устройств FACTS, значительно повысят надежность и управляемость распределительной электрической сети.

### **Использование систем накопления энергии в современных энергосистемах.**

Еще одним направлением в разработке мероприятий по повышению надежности ЭЭС является активное внедрение систем накопления энергии (СЭ)

[13]. Учитывая, что новой экономикой будущего является неоиндустриализация, основанная на сочетании крупных установок и распределенной генерации, энергетических и информационных процессов, физических и интеллектуальных систем, в ближайшем будущем энергетика будет представлять собой комбинированные системы, рассчитанные на широкий спектр энергетических услуг, предлагаемых потребителям в нужное время и необходимого качества.

Особенно быстро развивается малая (по удельной мощности) генерация, обеспечивающая более полное использование местных (как возобновляемых, так и других альтернативных) ресурсов. При этом потребитель может одновременно стать производителем электроэнергии, которую необходимо либо аккумулировать на месте, либо отдать в сеть. В последние годы развитие систем передачи электроэнергии в мире характеризуется их значительным усложнением, повышением их интеллектуального уровня, активным внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ), распределенных генераторов, конечных потребителей с регулируемым потреблением, а также как системы связи и системы управления. Эти изменения призваны обеспечить такие преимущества, как возможность выполнения задач государственной политики по диверсификации электроэнергетики и предоставление потребителям большего выбора при обеспечении собственного электроснабжения [2]. Однако эти преобразования сталкиваются с некоторыми проблемами, указанными в [13].

### **Внедрение систем накопления энергии**

Активное внедрение систем накопления энергии (СЭ) в энергосистемы в какой-то мере позволит преодолеть указанные выше проблемы.

Каждая технология накопления энергии характеризуется капитальными затратами на ее реализацию, а также эксплуатационными затратами. Стоимость различных СЭ и польза от их использования в значительной степени зависят от их структуры по разрядной мощности (МВт) и энергоемкости (МВт·ч). Независимым системным операторам (ISO), энергетическим компаниям, продавцам и поставщикам технологий хранения энергии необходимо активно формулировать правила формирующегося рынка ESS, а также эксплуатационные требования для достижения максимальной экономической эффективности от использования ESS.

Десять ключевых областей представляют преобладающее использование ESS и представляют наибольший интерес для потенциальных владельцев ESS и операторов рынка электроэнергии. В связи с большими капитальными затратами для большинства СЭ целесообразно использовать отдельные устройства для одновременного выполнения нескольких задач, соответствующих тем областям применения, которые указаны в таблице 1.2.

Таблица 1. Определение основных областей применения СЭ на уровне генерации и энергосистем [13]

Приложение	Описание
Услуги на оптовом рынке электроэнергии	ЭСС устанавливается в энергосистеме для участия в торгах на рынке электроэнергии и мощности и на рынке системных услуг <sup>1)</sup>
Интеграция ВИЭ в энергосистему	ЭСС, устанавливаемые в энергосистеме и обеспечивающие сдвиг максимальной нагрузки во времени и системных услуг для обеспечения параллельной работы ВИЭ с энергосистемой
Стационарная ЭСС для обеспечения передачи и распределения электроэнергии	ЭСС для поддержки передачи и распределения электроэнергии, повышения эффективности работы передающей и распределительной сети, а также экономии за счет отказа от строительства дополнительных сетевых объектов
Мобильная ЭСС для поддержки передачи и распределения электроэнергии	Мобильная ЭСС для поддержки передачи и распределения электроэнергии с задержкой ввода объектов сети передачи и распределения во многих местах по мере необходимости.
<sup>1)</sup> только крупные СЭ, работающие одновременно на рынке электроэнергии и на рынке системных услуг	

Таблица 2. Идентификация основных приложений ESS на уровне передающей и распределительной сети [13]

Приложение	Описание
ЭСС в торговых сетях	Модульные системы с централизованным управлением, обеспечивающие повышенную надежность электроснабжения, поддержку передающих и распределительных сетей и, возможно, системные услуги.
ЭСС суммарные с энергокомпаниями, поставляющими электроэнергию на розничный рынок электроэнергии.	ЭСС, установленные и обслуживаемые жилые помещения, объединенные и централизованно управляемые для распределительных систем.
ЭСС для обеспечения качества электроэнергии и надежности электроснабжения коммерческих и промышленных потребителей	ЭСС для обеспечения качества и надежности электроснабжения коммерческих и промышленных потребителей
ЭСС для управления питанием коммерческих и промышленных потребителей.	ЭСС для сокращения времени использования энергии, поступающей от энергосистемы, в часы максимальной нагрузки электроэнергии коммерческими и промышленными потребителями.

Европейская ассоциация по развитию технологий хранения энергии совместно с Европейским альянсом энергетических исследований разработала дорожную карту развития ESS до 2030 года [14]. В таблицах 5 и 6 [13] представлена информация из этой дорожной карты для литий-ионных аккумуляторов и проточного окислительно-восстановительного хранилища. Эти два типа электрохимических ЭСС на сегодняшний день являются наиболее распространенными в мире.

### **Разработка интеллектуальных энергосистем с учетом фактора надежности**

Идея интеллектуализации ЭЭС близка принципам кибернетического управления, и во многом это связано с достижениями техники и технологий [15-20, 22-24]. Изначально концепция построения интеллектуальной ЭЭС (ИЭС) в зарубежных странах – Smart Grid – была направлена на развитие систем электроснабжения конечных потребителей с установкой систем контроля и учета электроэнергии (Smart Meeting) и обеспечением возможности подключения распределенных источников питания к ЭЭС первой очереди, автономные ветроустановки и фотоэлектрические панели. На сегодняшний день идеология развития Smart Grid включает практически все основные направления деятельности в электроэнергетике и соответствующие технологические и информационно-коммуникационные связи между ними [15, 22, 24].

Термин Smart Grid не получил единого определения. Для характеристики разнообразия смысла этого понятия в [15] приводится ряд определений ведущих организаций США (EPRI, IEEE) и Западной Европы в области разработки идеологии Smart Grid.

Функциональная модель Smart Grid, представленная Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST) в 2009 году, выделяет основные направления деятельности в электроэнергетике, представленные семью направлениями-доменами, объединенными технологическими и коммуникационными связями (рис. 2.) [19]:

- Массовая генерация;
- Трансмиссия;
- Распространение;
- Операции;
- Заказчик;
- Рынки;
- Поставщик услуг.

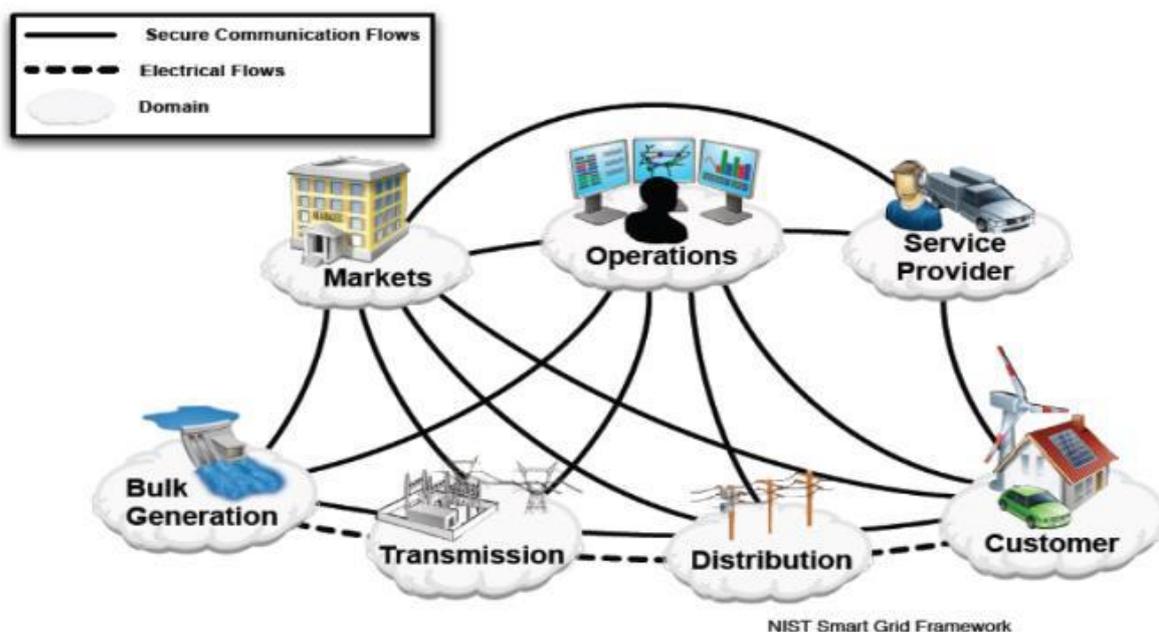


Рис. 2. Концептуальная модель Smart Grid

— безопасные токи связи

--- электрические токи

Вопросы стандартизации при формировании интеллектуальной ЭЭС находятся в центре внимания ведущих международных организаций и институтов [15, 16, 19-21]:

- Международная электротехническая комиссия (МЭК);
- Международный совет по большим электрическим системам (СИГРЭ);
- Комитеты европейских стандартов (CEN и CENELEC);
- Европейский институт стандартизации телекоммуникаций (ETSI);
- Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE);
- Национальный институт стандартов и технологий США (NIST);
- Научно-исследовательский институт электроэнергетики (EPRI).

Как отмечено в [15, 17], уже существует ряд международных стандартов, на которых может основываться проектирование и функционирование элементов Smart Grid (рис. 3).

Например, это стандарты для цифровой подстанции серии IEC 61850, стандарты IEC 61970/61968 для общей информационной модели CIM, стандарт IEEE 802.15.4 для взаимодействия с потребительскими устройствами по протоколу ZigBee и т. д.



Рис. 3. Стандарты для Smart Grid.

Технический комитет 57 МЭК разрабатывает международные стандарты (рис. 4) для СЭМ, SCADA, автоматизации распределительных сетей, обмена информацией, оперативного управления и т. д., которые будут использоваться при планировании, использовании и эксплуатации ИЭС [20].

### Обсуждение

Еще одним важным новым фактором для будущих ЭЭС является появление активных потребителей, самостоятельно управляющих собственным энергопотреблением в зависимости от ценовой конъюнктуры на розничном рынке электроэнергии путем переноса потребления электроэнергии некоторыми энергопотребителями из периодов с высокой ценой на электроэнергию в периоды с низкой цене.

Такое управление нагрузкой активных потребителей, не зависящее от диспетчерского графика, создает проблемы управления режимами ЭЭС из-за неопределенности потребляемой мощности активных потребителей. Поэтому взаимодействие ЭЭС и потребителей по совместному управлению режимами системы с использованием регулирующих возможностей потребителей является перспективным [3].

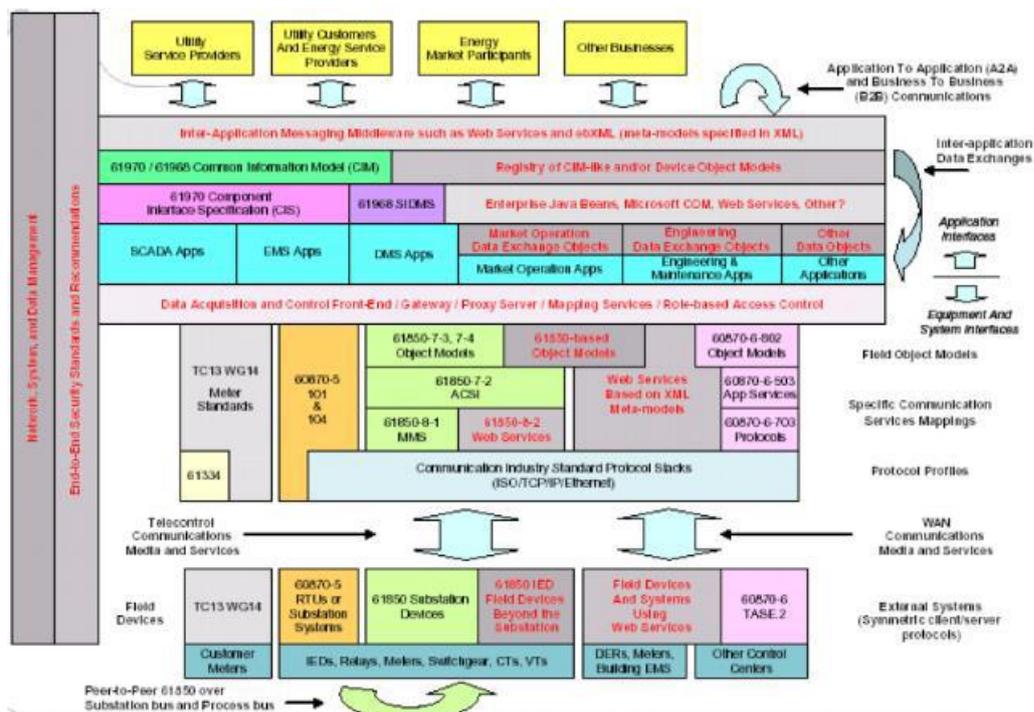


Рис. 4. Стандарты ИЕС для систем управления.

## Выводы

1. Предложения, изложенные в данной статье, открывают перспективу дальнейших исследований чрезвычайно важной проблемы оценки надежности и безопасности энергетических объектов и систем.

2. С развитием будущих ЭЭС на технологической базе интеллектуальной энергосистемы в дальнейшем будут обостряться новые проблемы, связанные с необходимостью усиления координации управления режимами ЭЭС на различных уровнях, повышения эффективности управления, обеспечения надежности системы управления режимами ЭУР. Вопросы информационной и кибербезопасности при мониторинге и управлении ЭЭС стоят особенно остро [16].

3. Все вышеизложенное требует серьезных глубоких исследований по изучению свойств будущих ЭЭС, разработке принципов и методов их формирования с учетом меняющихся условий, а также систем диспетчерского и автоматического управления будущими ЭЭС.

## Ссылки

1. Allaev K.R. Power industry of Uzbekistan and the world. T.: Fan va texnologiya, 2009, p.463.
2. Fortov V.E. Energy of the future based on breakthrough technologies as the basis of a new energy civilization // Materials of the XXIV International scientific, technical and practical conference "Prospects for the development of the electric power industry and high-voltage electrical equipment. Switching devices, conversion equipment, microprocessor control systems and security". November 28 - 29, 2016. Innovative power industry – 21. [Electronic resource]. URL: [http://www.energy-strategy.ru/projects/energy\\_21.htm](http://www.energy-strategy.ru/projects/energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).

3. Voropay N.I., Osak A.B. New properties of future power systems. // The same address [Electronic resource]. URL:[http:// www. energy strategy. ru/projects/-energy\\_21.htm](http://www.energystrategy.ru/projects/-energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).
4. V.A. Ovseychuk, V.A. Nepomnyashi. Rationing the reliability and quality of power supply to consumers // Innovation and Expertise. -2016. Volume 1/16. C.178-185. [Electronic resource]. URL:[http://www.energystrategy. ru/projects/energy\\_21.htm](http://www.energystrategy.ru/projects/energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).
5. Voropay N.I., Domyshev A.V., Nepomnyashchy V.A. Models and methods for investigating the operational reliability of electric power systems // Reliability of energy systems: Problems, models and methods of their solvation. Novosibirsk: Science, 2014, p. 57-73.
6. Voropai N.I., Efimov D.N., Kurbatsky V.G., Panasetkiy D.A., Tomin N.V. ISEM SO AN // Algorithms of survivability and self-restoration of intelligent electric power systems [Electronic resource]. URL:[http://www.energystrategy.ru/ projects/ energy\\_21. htm](http://www.energystrategy.ru/projects/energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).
7. Trends in microgrid control. IEEE-PES Task Force on Microgrid Control / D.E.Olivares, A.Mehrzi-Sani, A.H.Etemadi, e.a. // IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, Vol.5, No.4, p. 1905-1919.
8. Kitushin. Reliability of energy systems. Part 1. Theoretical Foundations: Textbook.-Novosibirsk: Publishing House of NSTU. 2003, p.256.
9. Podkovalnikov S.V., Savelyev V.A., Chudinova L.Yu. Integration of global electricity industry is the path to creating a global energy associations // [Electronic resource]. URL:[http://www. energystrategy. ru/projects/ energy\\_21.htm](http://www.energystrategy.ru/projects/energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).
10. Global Energy Network Institute – GENI □ URL: <http://www.geni.org/index.html> .
11. Electricity of the CIS 2003-2013 // Executive Committee of the CIS Electric Power Council, 2015 – 172 c. – URL: <http://energo-cis.ru>.
12. 2013 Year's Annual Report of GSE // Georgian State Electro system, 2014. – 39 c. □ URL: [http://www.gse.com.ge/new/ wpcontent/uploads /2014/07/SSA\\_ ANNUAL\\_ 2013\\_ FOR\\_ WEB.pdf](http://www.gse.com.ge/new/wpcontent/uploads/2014/07/SSA_ANNUAL_2013_FOR_WEB.pdf).
13. Kucherov Yu.N., Novikov N.P. The main trends in the development and application of energy storage systems in modern energy systems // [Electronic resource]. URL:[http://www. Energy-strategy. ru/projects/ energy\\_21.htm](http://www.Energy-strategy.ru/projects/energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).
14. Joint EASE/EERA Recommendation for a European Energy Storage Technology Development Roadmap Towards 2030, *Final Report*, March 2013.
15. Clark W. Gellings. Let's Build a Global Power Grid // IEEE Spectrum.– 2015. – July . URL:<http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/lets-build-a-global-power-g>.
16. Kucherov Yu.N., Fedorov Yu.G. Features of the development of intelligent power systems taking into account the reliability factor // Electronic resource]. URL:[http://www. Energy-strategy. ru/projects/ energy\\_ 21.htm](http://www.Energy-strategy.ru/projects/energy_21.htm) (date of the application: 20.04.2019).
17. Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid / EPRI Technical report No.1022519, 2011. – 162 c.
18. IEEE Std 2030-2011 Guide for Smart Grid Interoperability of EnergyTechnology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads. – 126 c.
19. European Technology Platform Smart Grids – Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future, 2010. – 69 c.
20. Technical and Commercial Standardisation of DER –microGrid Components / CIGRE TB 423, WG C6.10, 2010. – 129 c.
21. Reliability Standards Set / NERC, 2010. – 1074 c.
22. Jalilov R.B. Prerequisites for the creation of automated industrial energy supply management systems // Chief Power Engineer, 2006, No.6, p.41-43.
23. Jalilov R.B. Digital relays: regulatory framework for use, brief description, market overview // Electrical equipment, 2008, No.2, p.7-11.
24. Jalilov R.B. A new approach to the creation of an intelligent automation substation // Industrial Energy, 2008, No.4, p.15-18.